

## Best Available Copy

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-320120

(43)Date of publication of application : 16.11.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/02  
H01L 29/43  
H01S 5/22  
H01S 5/343

(21)Application number : 2001-084836

(71)Applicant : NEG CORP

(22)Date of filing : 13.08.1998

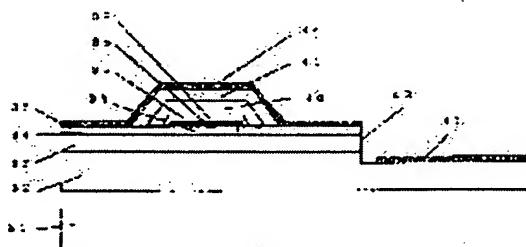
(72)Inventor : NIDOU MASAOKI  
KIMURA AKITAKA

## (54) GALLIUM NITRIDE BASED SEMICONDUCTOR ELECTRODE STRUCTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent exfoliation of an electrode in a gallium nitride based semiconductor element.

SOLUTION: A gallium nitride based light emitting element is provided with an insulator mask which is formed on substrate crystal whose uppermost layer is a first semiconductor layer of a first conductivity type and has a stripe type aperture part, an active layer containing a semiconductor layer which is formed selectively in the stripe type aperture part of the mask and is shown by a general formula  $\text{In}_p\text{Al}_q\text{Ga}_{1-p-q}\text{N}$  ( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p+q \leq 1$ ), and a second semiconductor layer containing at least one semiconductor layer of a second conductivity type which is formed on the active layer and shown by a general formula  $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{N}$  ( $0 \leq u \leq 1$ ,  $0 \leq v \leq 1$ ,  $0 \leq u+v \leq 1$ ). Crystal structure of the first semiconductor layer is hexagonal system. Its surface is a (0001) face or a face having an angle of at most 10 degrees to the (0001) face. The stripe of the mask is formed in the [1-100] direction of the first semiconductor layer or in the direction having an angle of at most 10 degrees to the [1-100] direction.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 31.08.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-320120

(P 2 0 0 1 - 3 2 0 1 2 0 A)

(43) 公開日 平成13年11月16日 (2001. 11. 16)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード (参考)
H01S 5/02		H01S 5/02	
H01L 29/43		5/22	
H01S 5/22		5/343	
5/343		H01L 29/46	H

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全13頁)

(21) 出願番号 特願2001-84836 (P 2001-84836)  
(62) 分割の表示 特願平10-228912の分割  
(22) 出願日 平成10年 8 月13日 (1998. 8. 13)

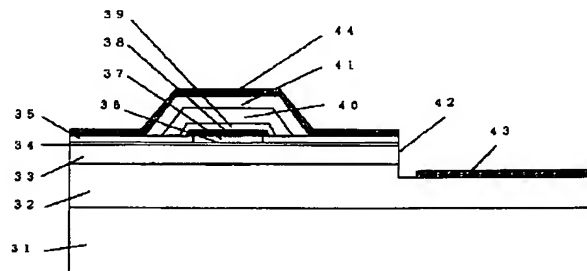
(71) 出願人 000004237  
日本電気株式会社  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号  
(72) 発明者 仁道 正明  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内  
(72) 発明者 木村 明隆  
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株  
式会社内  
(74) 代理人 100082935  
弁理士 京本 直樹 (外 2 名)

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体電極構造

(57) 【要約】

【課題】 窒化ガリウム系半導体素子における電極の剥離を防止する。

【解決手段】 最表面層が第1導電型の第1の半導体層である基板結晶上に形成されたストライプ状の開口部を持つ絶縁体マスクと、マスクのストライプ状の開口部に選択的に形成された一般式  $In_p Al_q Ga_{1-p-q} N$  ( $0 \leq p \leq 1$ ,  $0 \leq q \leq 1$ ,  $0 \leq p+q \leq 1$ ) で表される半導体層を含む活性層と、活性層上の一般式  $In_u Al_v Ga_{1-u-v} N$  ( $0 \leq u \leq 1$ ,  $0 \leq v \leq 1$ ,  $0 \leq u+v \leq 1$ ) で表される第2導電型半導体層を少なくとも1層含む第2の半導体層とを有する窒化ガリウム系発光素子において、第1の半導体層の結晶構造が六方晶であり、その表面が (0001) 面または (000 $\bar{1}$ ) 面となす角が10度以内である面であり、マスクのストライプ方向を第1の半導体層の [1-100] 方向または [1-100] 方向となす角が10度以内である方向に形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化ガリウム系半導体層と、前記窒化ガリウム系半導体層上に形成された絶縁体マスクと、前記絶縁体マスク上に形成された多結晶AlGaInと、前記多結晶AlGaIn領域の表面に形成された電極とを有することを特徴とする窒化ガリウム系半導体電極構造。

【請求項2】前記多結晶AlGaInは、選択成長により形成されたことを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系半導体電極構造。

【請求項3】前記窒化ガリウム系半導体層は、(0001)面または(0001)面となす角が10度以内である面を表面とする六方晶であり、前記絶縁体マスクは、[1-100]方向または[1-100]方向となす角が10度以内である方向のストライプ状の開口部を有することを特徴とする請求項2記載の窒化ガリウム系半導体電極構造。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウム系半導体電極構造に関し、特に電極はがれを防止した窒化ガリウム系半導体電極構造に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化ガリウムは、InPやGaAsといった従来の一般的な化合物半導体に比べ、禁制帯エネルギーが大きい。そのため、一般式 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ )で表される半導体（以下、窒化ガリウム系半導体）は緑から紫外にかけての発光ダイオード、半導体レーザへの応用が期待されている。このような窒化ガリウム系半導体発光素子は形成方法により六方晶と立方晶の2種類の結晶構造をとり得るが、六方晶の方がエネルギー的に安定のため、通常は六方晶の結晶構造を用いている。

【0003】図13は、従来技術による窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である（例えば、S. Nakamura et al., Appl. Phys. Lett. 69 (1996)1477）。図13に於いて、この窒化ガリウム系半導体レーザの層構造は、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ3μmのn型GaInNコンタクト層102、厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層103、厚さ0.1μmのn型GaInN光ガイド層104、厚さ25Å（オングストローム）のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層105、厚さ0.1μmのp型GaInN光ガイド層106、厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層107、厚さ0.2μmのp型GaInNコンタクト層108、Ni/Auの2層金属からなるp電極113、Ti/Alの2層金属からなるn電極112が形成されている。

【0004】図13において、全ての半導体層は平坦な

サファイア基板101上に形成され、p型クラッド層107とp型コンタクト層108はエッチングによって幅4μm程度のストライプ状のリッジ構造109に加工され、リッジの頭部を除いて形成されたSiO<sub>2</sub>膜110によって電流をリッジ部分のみに狭窄している。また、サファイア基板101は絶縁体のため、エッチングによって段差111を形成し、n型コンタクト層102を露出した後にn電極112を形成している。図13に示された従来の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】図13に示された従来の窒化ガリウム系レーザは、エッチングにより形成された、幅4μmのリッジ構造によって電流狭窄を行なっているために発振しきい値電流が小さくなっている。また、リッジ部分とそれ以外の部分で実効的な活性層の屈折率差ができるので、図13のレーザ構造断面内での光導波ができ、基本モードの楕円形のレーザ光が放射される。レーザ光の放射パターンが基本モードであることは、光ディスク用光源などの用途では、レンズによる集光で小さいスポットが得られるため重要である。

【0006】しかしながら、図13に示された従来の窒化ガリウム系半導体レーザは、レーザ表面に形成されたp電極113と電流狭窄を行うためのリッジ構造のp型コンタクト層108との接触面積が4μm程度と小さいために電極とコンタクト層の間の接触抵抗が大きいという問題があった。特に窒化ガリウム系半導体では、p型ドーパントの活性化エネルギーが大きいこと、良好なp型オーミック電極金属がないことからp型コンタクトの接触抵抗が大きく、p型コンタクト面積が小さいことによる素子抵抗への影響は大きい。また、p型層、特にp型AlGaIn層107のバルク抵抗は大きく、電流が幅の狭いp型層に狭窄されていることによる素子抵抗への影響は大きい。

【0007】更に、一般にエッチングによるリッジ構造形成は、厳しいエッチングレート制御性が必要であり、半導体層が損傷を受けやすい、あるいは工程が複雑である、などの問題が多い。

【0008】選択成長を用いて窒化物系半導体発光素子のダブルヘテロ構造を作成した例としては特開平7-249831号公報の例が知られているが、この例では選択成長でレーザ共振器の反射面を形成するためのものであり、素子抵抗及び低動作電流を実現するための構造および作製方法についての記載はなかった。

【0009】本発明の目的は、素子抵抗及び動作電流が低い窒化ガリウム系半導体発光素子を提供すること、さらに、このような窒化ガリウム系半導体発光素子を簡単な工程で得るための製造方法を提供することにある。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系半導体電極構造は、窒化ガリウム系半導体層と、前記窒化ガリウム系半導体層上に形成された絶縁体マスクと、前記絶縁体マスク上に形成された多結晶 AlGaIn と、前記多結晶 AlGaIn 領域の表面に形成された電極とを有することを特徴とする。また、前記多結晶 AlGaIn は、選択成長により形成されたことを特徴とする。さらに、窒化ガリウム系半導体層は、(0001) 面または (0001) 面となす角が 10 度以内である面を表面とする六方晶であり、前記絶縁体マスクは、[1-100] 方向または [1-100] 方向となす角が 10 度以内である方向のストライプ状の開口部を有することを特徴とする。

【0011】本発明は、AlGaIn を選択成長する場合は、マスク上に多結晶 AlGaIn 膜が形成されるが、多結晶化に伴う表面積の増加により AlGaIn 膜上に形成される電極は剥離しにくくなり、電極の剥離を防止することができる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の各実施例について図面を参照して詳しく説明する。

【0013】《参考例 1》 図 1 は、本発明を説明するための参考例 1 である窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【0014】図 1 に示された本参考例 1 では、窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層として (0001) 面を表面とする六方晶を用いている。図 1 に於いて、本発明の参考例 1 の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20) 面を表面とするサファイア基板 31 上に、厚さ 3 μm の n 型 GaN コンタクト層 32、厚さ 0.4 μm の n 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 33、厚さ 0.05 μm の n 型 GaN 光ガイド層 34、n 型 GaN 光ガイド層 34 上に形成され <1-100> 方向の幅 1 μm のストライプ状開口部 36 を持った厚さ 2000 Å (オングストローム) の SiO<sub>2</sub> マスク 35、SiO<sub>2</sub> マスク 35 を用いてストライプ状開口部 36 に選択的に形成された厚さ 0.05 μm の n 型 GaN 光ガイド層 37、厚さ 25 Å (オングストローム) の In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 量子井戸層と厚さ 50 Å (オングストローム) の In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N 障壁層からなる 7 周期の多重量子井戸構造活性層 38、厚さ 0.1 μm の p 型 GaN 光ガイド層 39、厚さ 0.4 μm の p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 40、厚さ 0.2 μm の p 型 GaN コンタクト層 41 からなる積層構造が形成されている。選択成長により形成した層は、側面が [11-22] 面となっている。

【0015】また素子電極は Ni/Au の 2 層金属からなる p 電極 44、Ti/Al の 2 層金属からなる n 電極 43 で形成されている。サファイア基板 31 が絶縁体のため、n 電極 43 はエッチングによって段差 42 を形成し、n 型コンタクト層 32 を露出した後に形成してい

る。

【0016】次に図 1 に示された本発明の参考例 1 の窒化ガリウム系半導体レーザの製造方法について説明する。

【0017】初めに、有機金属化学気相成長法により、平坦なサファイア基板 31 上に、n 型 GaN コンタクト層 32、n 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 33、n 型 GaN 光ガイド層 34 を前述の順序で形成した後に、結晶の [1-100] 方向に、幅 1 μm のストライプ状の開口部 36 を持つ SiO<sub>2</sub> マスク 35 を形成し、しかる後に、有機金属化学気相成長法により、SiO<sub>2</sub> マスク 35 の開口部 36 に選択的に n 型 GaN 光ガイド層 37 を成長し、続いて多重量子井戸構造活性層 38、p 型 GaN 光ガイド層 39、p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 40、p 型 GaN コンタクト層 41 を成長する。さらに p 電極、n 電極を形成する工程を経て窒化ガリウム系半導体レーザを形成する。

【0018】図 1 に示された本発明の参考例 1 の窒化ガリウム系半導体レーザでは、n 型層上に SiO<sub>2</sub> マスク 35 により開口部 36 を形成し、選択成長を行うことで開口部 36 周辺に活性層と p 型層を選択的に形成している。この場合、活性層 38 に対する電流狭窄を SiO<sub>2</sub> 膜 35 で行うことができ活性層 38 への理想的な電流狭窄が可能となる。

【0019】また参考例 1 の場合は活性層の側面は活性層の屈折率より低い層で埋め込まれて活性層横方向の屈折率差が大きくなるため、活性層幅を 1 μm 程度と小さくすることでレーザ光の基本横モード制御が行える。

【0020】図 13 に示した従来の窒化ガリウム系半導体レーザの電流狭窄構造では、幅 4 μm のリッジに沿って電流狭窄されるが活性層付近でさらに 2 μm 程度電流が広がってしまう。これに対し、本発明の参考例 1 の半導体レーザでは、ほぼ完全な電流狭窄で 1 μm 程度の幅の狭い幅の活性層に電流注入を行えるため、従来の窒化ガリウム系半導体レーザに比べてレーザの発振閾値は数分の 1 に大きく減少する。

【0021】また前述の通り、(0001) 面を表面とする六方晶窒化ガリウム系半導体層上に GaN、InGaIn または AlGaIn を選択成長により形成する場合、GaN、InGaIn または AlGaIn は六方晶窒化ガリウム系半導体層の [1-120] 方向では [0001] 方向と同程度の成長速度を持つ。従って、p 型 GaN コンタクト層 41 の頂上の幅は、電流狭窄幅 (= SiO<sub>2</sub> 膜 35 の開口部 36 の幅: 1 μm) に比べて選択成長する結晶の層厚の 2 倍程度、すなわち 1.6 μm 程度大きくなる。これに加えて p 型 GaN コンタクト層 41 はリッジ形状になっており、リッジ側壁にもコンタクトが形成されているため、p 電極 44 と導通する総コンタクト面積は 4 μm 程度になる。

【0022】図 13 に示した従来の窒化ガリウム系半導

体レーザでは、p型コンタクトの幅は4 $\mu$ mのリッジ上部の幅に等しく、この幅とp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層40とp型Ga<sub>0.93</sub>Nコンタクト層41の電流が流れる幅はほぼ等しくなる。これに対して参考例1ではp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層40とp型Ga<sub>0.93</sub>Nコンタクト層41の電流が流れる幅は3 $\mu$ m程度になる。従って、参考例1の窒化ガリウム系半導体レーザでは、従来の窒化ガリウム系半導体レーザと比較してp型コンタクト抵抗、及びp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9とp型Ga<sub>0.93</sub>Nコンタクト層10のバルク抵抗は同程度になる。

【0023】このように、本発明の構造では従来と同程度の素子抵抗を維持しながら発振閾値を減少することが可能となり、動作電圧を従来よりも低減することができる。

【0024】また本参考例1では、光導波路を半導体結晶の[1-100]方向に形成しているため、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することができ、さらに電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程を簡単にできる。

【0025】《実施例1》図2は、本発明を窒化ガリウム系レーザに適用した実施例1の概略断面図である。図2に示された実施例1の窒化ガリウム系半導体レーザは、参考例1の半導体レーザと比較して絶縁体マスク上に多結晶AlGa<sub>0.45</sub>Nが形成されている点が異なっている。

【0026】図2に示された、本実施例1では窒化ガリウム系レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。図2に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板31上に、厚さ3 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.93</sub>Nコンタクト層32、厚さ0.4 $\mu$ mのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層33、厚さ0.05 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.93</sub>N光ガイド層34、n型Ga<sub>0.93</sub>N光ガイド層34上に形成され<1-100>方向の幅1 $\mu$ mのストライプ状開口部36を持った厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク35、SiO<sub>2</sub>マスク35を用いて選択的に形成された厚さ0.05 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.93</sub>N光ガイド層37、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層38、厚さ0.1 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.93</sub>N光ガイド層39、厚さ0.4 $\mu$ mのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層40、厚さ0.2 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.93</sub>Nコンタクト層41からなる積層構造が形成されている。選択成長により形成した層は、側面が[11-22]面となっている。

【0027】また素子電極はNi/Auの2層金属からなるp電極44、Ti/Alの2層金属からなるn電極43で形成されている。n電極43はサファイア基板3

1が絶縁体のためエッチングによって段差42を形成し、n型コンタクト層32を露出した後に形成している。

【0028】AlGa<sub>0.45</sub>N選択成長時には、選択成長マスク上に多結晶AlGa<sub>0.45</sub>Nができやすくなるが、多結晶AlGa<sub>0.45</sub>Nの層厚はp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層40に比べて数分の1程度に小さく、SiO<sub>2</sub>膜35により電流狭窄及び光導波を行うことは参考例1と同様であり、多結晶AlGa<sub>0.45</sub>Nがあっても電流狭窄及び光導波の効果は変わらない。

【0029】また低抵抗化に関しても参考例1と同様の効果が得られるが、多結晶ができると、表面が凹凸になるので、図のように電極を形成したときに接触面積が大きく、はがれにくくなるというAlGa<sub>0.45</sub>N選択成長による特有の効果もある。

【0030】さらに、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程を簡単にできること、光導波路が半導体結晶の[1-100]方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成できることも参考例1と同様である。

【0031】《参考例2》図3は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した参考例2の概略断面図である。図3に示された参考例2の窒化ガリウム系半導体レーザは、参考例1の半導体レーザと比較して、選択成長のためのSiO<sub>2</sub>マスクの形状と、選択的に結晶成長する領域が異なっている。

【0032】図3に示された、本参考例2では、窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は(0001)面を表面とする六方晶窒化ガリウム系半導体を用いている。図3に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板31上に、厚さ3 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.93</sub>Nコンタクト層32、厚さ0.4 $\mu$ mのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層33、厚さ0.05 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.93</sub>N光ガイド層34、n型Ga<sub>0.93</sub>N光ガイド層34上に形成され<1-100>方向のストライプ状に形成された、幅1 $\mu$ mの空隙47を挟んで1対の幅15 $\mu$ m、厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク46、SiO<sub>2</sub>マスク46を用いて選択的に形成された厚さ0.05 $\mu$ mのn型Ga<sub>0.93</sub>N光ガイド層48、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層49、厚さ0.1 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.93</sub>N光ガイド層50、厚さ0.4 $\mu$ mのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層51、厚さ0.2 $\mu$ mのp型Ga<sub>0.93</sub>Nコンタクト層52、p型Ga<sub>0.93</sub>Nコンタクト層52上に形成され空隙47と中心が一致する幅15 $\mu$ mの開口部を持ったSiO<sub>2</sub>マスク55からなる積層構造が形成されている。選択成長により形成した層は、側面が[11-2

2] 面となっている。

【0033】また素子電極はNi/Auの2層金属からなるp電極56、Ti/Alの2層金属からなるn電極54で形成されている。サファイア基板31が絶縁体のため、n電極54はエッチングによって段差53を形成し、n型コンタクト層32を露出した後に形成している。

【0034】次に図3に示された本発明の参考例2の窒化ガリウム系半導体レーザの製造方法について説明する。

【0035】図3の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、選択的に形成する半導体層の成長領域が異なる以外は参考例1と同様である。

【0036】本参考例2では、幅 $15\mu\text{m}$ 、間隔 $1\mu\text{m}$ の1対の厚さ $2000\text{\AA}$ （オングストローム）の $\text{SiO}_2$ マスク46を用いている。このような $\text{SiO}_2$ マスクを用いても、p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層とp型 $\text{GaN}$ コンタクト層が横方向に広がって形成されることは参考例1と同様であるが、n型 $\text{GaN}$ 光ガイド層34表面で $\text{SiO}_2$ マスクのある領域とない領域の面積比（ $\text{SiO}_2$ に被覆された面積／被覆されていない面積：以下、「被覆率」と呼ぶ）を、数十分の1程度以下に小さくできる。この結果、選択的に形成する半導体層の層厚方向の成膜レートを $\text{SiO}_2$ マスクのない場合とほぼ同じにすることができ、選択成長の際の成膜レートを制御しやすくなる。

【0037】参考例2のように1対のマスクにより選択成長を行う場合、所望の素子形成領域以外にも半導体層が成長することになるが、図3に示したように、所望の素子形成領域以外の成長部分については、 $\text{SiO}_2$ 膜55を電流ブロックとして用いることで、電流が $\text{SiO}_2$ 空隙47のみに流れるようになる。したがって、参考例2の製造方法による構造でも参考例1と同様に低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などが実現できる。

【0038】また、電流狭窄構造形成のドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単になる。さらに光導波路が半導体結晶の $[1-100]$ 方向に形成するため、窒化ガリウム系半導体の $(1-100)$ へき開面を用いて共振器鏡面を形成することができる。

【0039】《参考例3》 図4は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した参考例3の概略断面図である。図4に示された本参考例3の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は、全て $(0001)$ 面を表面とする六方晶である。本参考例3と参考例2の違いは、参考例2における $(11-20)$ 面を表面とするサファイア基板31と厚さ $3\mu\text{m}$ のn型 $\text{GaN}$ コンタクト層32がn型 $\text{GaN}$ 基板92に置き換わったことである。この結果、n電極54はn型 $\text{GaN}$ 基板92の裏面に形成される。

【0040】なお、図4の半導体レーザの半導体結晶部

分の製造方法は、n型基板92上に直接選択的に結晶を形成すること以外は参考例2と同様である。

【0041】本発明の参考例3の窒化ガリウム系半導体レーザでは、n電極形成のためのドライエッチングが不要であり、参考例2に比較して更に製造工程が簡略化される。また、光導波路が半導体結晶の $[1-100]$ 方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の $(1-100)$ へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来るが、基板自体が $\text{GaN}$ であるため、サファイア基板がある場合に比べて劈開面形成ははるかに容易になる。低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は参考例2と同様である。

【0042】《参考例4》 図5は、本発明を説明するための参考例4である窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。図5に示された、本参考例4の窒化ガリウム系レーザの半導体層は全て $(0001)$ 面を表面とする六方晶である。

【0043】図5に於いて、本発明の参考例4の窒化ガリウム系半導体レーザは、 $(11-20)$ 面を表面とするサファイア基板61上に、厚さ $3\mu\text{m}$ のn型 $\text{GaN}$ コンタクト層62、該n型 $\text{GaN}$ コンタクト層62上に形成され、 $\langle 1-100 \rangle$ 方向の幅 $1\mu\text{m}$ のストライプ状開口部64を持った厚さ $2000\text{\AA}$ （オングストローム）の $\text{SiO}_2$ マスク63、 $\text{SiO}_2$ マスク63を用いて選択的に形成された厚さ $0.4\mu\text{m}$ のn型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層65、厚さ $0.1\mu\text{m}$ のn型 $\text{GaN}$ 光ガイド層66、厚さ $25\text{\AA}$ （オングストローム）の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 量子井戸層と厚さ $50\text{\AA}$ （オングストローム）の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層67、厚さ $0.1\mu\text{m}$ のp型 $\text{GaN}$ 光ガイド層68、厚さ $0.4\mu\text{m}$ のp型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層69、厚さ $0.2\mu\text{m}$ のp型 $\text{GaN}$ コンタクト層70を形成している。選択成長により形成した層は、側面が $[11-22]$ 面となっている。Ni/Auの2層金属からなるp電極71、Ti/Alの2層金属からなるn電極72が形成されている。 $\text{SiO}_2$ マスク63を除去してn型コンタクト層62を露出した後にn電極72を形成している。

【0044】次に図5に示された本発明の参考例4の窒化ガリウム系半導体レーザの製造方法について説明する。

【0045】初めに、有機金属化学気相成長法により、平坦なサファイア基板61上に、n型 $\text{GaN}$ コンタクト層62を形成した後に、結晶の $[1-100]$ 方向に、幅 $1\mu\text{m}$ のストライプ状の開口部64を持つ $\text{SiO}_2$ マスク63を形成し、しかる後に、有機金属化学気相成長法により、前記 $\text{SiO}_2$ マスク63の開口部64にのみ選択的にn型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層65、n型 $\text{GaN}$ 光ガイド層66、多重量子井戸構造活性層67、p型 $\text{GaN}$ 光ガイド層68、p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ ク

ラッド層69、p型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層70からなる積層構造を形成する。

【0046】図5に示された参考例4の窒化ガリウム系半導体レーザは、活性層、p型層に加えてn型クラッド層も選択的に形成している。電流狭窄はSiO<sub>2</sub>膜63により行うが、活性層67において電流が流れる幅がSiO<sub>2</sub>膜63の開口部64の幅より1μm程度大きくなり、電流狭窄効果は小さくなるが、図13に示すような従来の半導体レーザ構造よりも電流狭窄効果は大きい。

【0047】また、活性層横方向の光閉込に関しては、活性層67がベンドした形状になっているため、活性層67の平坦部分に光が閉じ込められる。

【0048】以上のように、従来より効果的な電流狭窄で1μm程度の幅の狭い活性層に電流注入を行えるため、活性層への電流狭窄幅6μm程度の従来実施例に比べてレーザの発振閾値は大きく減少する。

【0049】更に、p型層が横方向に広がってリッジ状に形成されるため、pコンタクト面積は5μm程度、p型層の幅は3μm程度と従来の半導体レーザ構造と同程度になる。従って、従来と同程度の素子抵抗を維持しつつ、発振閾値を減少させることができ、動作電圧の低減が可能となる。

【0050】さらに、本発明の参考例3においても、窒化ガリウム系半導体レーザの電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程を簡単にできる。また、窒化ガリウム系半導体の(1-100)面はへき開面であるため、窒化ガリウム系半導体レーザの共振器鏡面をへき開によって形成することができる。

【0051】《実施例2》 図6は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した実施例2の概略断面図である。図6に示された、実施例2の窒化ガリウム系レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。

【0052】図6に於いて、本発明の窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板61上に、厚さ3μmのn型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62、該n型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62上に形成され、<1-100>方向の幅1μmのストライプ状開口部64を持った厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク63、該SiO<sub>2</sub>マスク63を用いて選択的に形成された厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65、厚さ0.1μmのn型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層66、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層67、厚さ0.1μmのp型Ga<sub>0.97</sub>N光ガイド層68、厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69、厚さ0.2μmのp型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層70を形成している。選択成長により形成した層は、側面が[11-22]面となっている。Ni/Auの2層金

属からなるp電極71、Ti/Alの2層金属からなるn電極72が形成されている。n型コンタクト層62を露出した後にn電極72を形成している。n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65及びp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69の形成時には、形成方法によってはAlとSiO<sub>2</sub>の吸着が強いので、SiO<sub>2</sub>マスク63上にそれぞれ多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74が成長する。実施例2と参考例4との相違点は、多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74の有無である。また実施例2の半導体結晶部分の製造方法は参考例4と同様である。

【0053】図6に示された本発明の実施例2の窒化ガリウム系半導体レーザは、参考例4の半導体レーザに比較して、多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74があることのみが異なる。n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65及びp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69の形成時には、形成方法によってはAlとSiO<sub>2</sub>の吸着が強いので、SiO<sub>2</sub>マスク63上に多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74が成長する。

【0054】AlGa<sub>0.97</sub>N選択成長時には、選択成長マスク上に多結晶AlGa<sub>0.97</sub>Nができやすくなるが、多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74の層厚はn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層65及びp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層69に比べて数分の1程度に小さい。SiO<sub>2</sub>膜63により電流狭窄及び光導波を行うことは参考例4と同様であり、多結晶AlGa<sub>0.97</sub>N73、74があっても電流狭窄及び光導波の効果は変わらない。低抵抗化に関しても参考例4と同様の効果がある。

【0055】また低抵抗化に関しても参考例1と同様の効果が得られるが、多結晶ができると、表面が凹凸になるので、図のように電極を形成したときに接触面積が大きくなり、はがれにくくなるというAlGa<sub>0.97</sub>N選択成長による特有の効果も得られる。

【0056】さらに、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単であること、光導波路が半導体結晶の[1-100]方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは参考例4と同様である。

【0057】《参考例5》 図7は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した参考例5の概略断面図である。図7に示された、参考例5の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。図7に示された本発明の参考例5の窒化ガリウム系半導体レーザは、参考例4の半導体レーザに比較して、SiO<sub>2</sub>マスクの形状と、選択的に結晶を形成する領域が異なる。

【0058】図7に於いて、窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板61上に、厚さ3μmのn型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62、該n型Ga<sub>0.97</sub>Nコンタクト層62上に形成され、<1-100>



0°方向のストライプ状に形成された、幅1μmの空隙81を挟んで1対の幅15μm、厚さ2000Å（オングストローム）のSiO<sub>2</sub>マスク80、該SiO<sub>2</sub>マスク80を用いて選択的に形成された厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層82、厚さ0.1μmのn型GaN光ガイド層83、厚さ25Å（オングストローム）のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層84、厚さ0.1μmのp型GaN光ガイド層85、厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層86、厚さ0.2μmのp型GaNコンタクト層87、該p型GaNコンタクト層87上に形成され、かつ空隙81と中心が一致する幅15μmの開口部を持ったSiO<sub>2</sub>マスク88、Ni/Auの2層金属からなるp電極89、Ti/Alの2層金属からなるn電極91が形成されている。サファイア基板61は絶縁体なので、エッチングによって段差90を形成し、n型コンタクト層62を露出した後にn電極91を形成している。

【0059】図7の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、選択的に形成する半導体層の成長領域が異なる以外は参考例4と同様である。

【0060】本参考例5では、幅15μm、間隔1μmの1対の厚さ2000Å（オングストローム）のSiO<sub>2</sub>マスク80を用いる。このようなSiO<sub>2</sub>マスクを用いても、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層82、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層86、p型GaNコンタクト層87等が横方向に広がって形成されることは参考例4と同様であるが、n型GaN層62表面でSiO<sub>2</sub>マスクのある領域とない領域の面積比（SiO<sub>2</sub>に被覆された面積／被覆されていない面積：以下、被覆率と呼ぶ）を、数十分の1程度以下に小さくできる。この結果、選択的に形成する半導体層の層厚方向の成膜レートをSiO<sub>2</sub>マスクのない場合とほぼ同じにすることができ、成膜レートを制御しやすくなる。

【0061】低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は参考例4と同様である。また、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単であること、光導波路が半導体結晶の〔1-100〕方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の（1-100）へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることも参考例4と同様である。

【0062】《参考例6》 図8は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した参考例6の概略断面図である。図8に示された、本参考例6の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て（0001）面を表面とする六方晶である。

【0063】本参考例6と参考例5の違いは、参考例5における（11-20）面を表面とするサファイア基板61と厚さ3μmのn型GaNコンタクト層62がn型

GaN基板92に置き換わったことである。この結果、n電極93はn型GaN基板92の裏面に形成される。図8の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、n型基板92上に直接選択的に結晶を形成すること以外は参考例5と同様である。

【0064】この結果、n電極形成の為にドライエッチングが不要であり、参考例5に比較して更に製造工程が簡略化される。また、光導波路が半導体結晶の〔1-100〕方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の（1-100）へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは同様であるが、基板自体がGaNであるため、サファイア基板がある場合に比べて劈開面形成ははるかに容易になる。低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は参考例5と同様である。

【0065】《参考例7》 図9は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した参考例7の概略断面図である。図9に示された、本参考例7の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て（0001）面を表面とする六方晶である。

【0066】図9に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、（11-20）面を表面とするサファイア基板1上に、厚さ3μmのn型GaNコンタクト層2、厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層3、厚さ0.1μmのn型GaN光ガイド層4、厚さ25Å（オングストローム）のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層5、厚さ0.1μmのp型GaN光ガイド層6、該p型GaN光ガイド層6上に形成され、〈1-100〉方向の幅4μmのストライプ状開口部8を持った厚さ2000Å（オングストローム）のSiO<sub>2</sub>マスク7、該SiO<sub>2</sub>マスク7を用いて選択的に形成された厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9、厚さ0.2μmのp型GaNコンタクト層10、Ni/Auの2層金属からなるp電極13、Ti/Alの2層金属からなるn電極12が形成されている。サファイア基板1は絶縁体なので、エッチングによって段差11を形成し、n型コンタクト層2を露出した後にn電極12を形成している。

【0067】図9に示された本発明の参考例7の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体結晶部分の製造工程に於いては、まず、有機金属化学気相成長法により、平坦なサファイア基板1上に、n型GaNコンタクト層2、n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層3、n型GaN光ガイド層4、多重量子井戸構造活性層5、p型GaN光ガイド層6を前記順序で形成した後に、結晶の〔1-100〕方向に、幅4μmのストライプ状の開口部8を持つSiO<sub>2</sub>マスク7を形成し、しかる後に、有機金属化学気相成長法により、前記SiO<sub>2</sub>マスク7の開口部にのみ選択的にp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9、p型

GaNコンタクト層10を形成する。

【0068】図13に示した従来の半導体レーザでは、エッチングによってメサを形成して電流狭窄を行っているため、活性層とメサ底面の間の層厚の制御が難しく、 $0.3 \pm 0.1 \mu\text{m}$ 程度になってしまう。これに対して図9に示された本発明の参考例7の窒化ガリウム系半導体レーザでは、結晶成長と $\text{SiO}_2$ 膜形成によって電流狭窄構造を作るため、活性層5から $\text{SiO}_2$ 膜7までの層厚を $0.1 \pm 0.01 \mu\text{m}$ 程度に制御性よく薄くすることができる。従って、本実施例では従来の半導体レーザ構造よりも電流広がり小さい電流狭窄構造を制御性よく形成することができる。また、 $\text{SiO}_2$ 膜7はGaN系材料よりも屈折率が小さいため、活性層5から放射されるレーザ光に対して図9の水平方向に実効的な屈折率差が生じ、レーザ光の放射パターンが基本モードの楕円形に整形される。

【0069】更に、前述の通り、(0001)面を表面とする六方晶窒化ガリウム系半導体層上にGaN及びAlGaNを選択成長により形成する場合、GaN及びAlGaNは前記六方晶窒化ガリウム系半導体層の[1-120]方向には[0001]方向と同程度の成長速度を持つ。従って、p型GaNコンタクト層10の幅は電流狭窄幅(=  $\text{SiO}_2$ 膜7の開口部8の幅:  $4 \mu\text{m}$ )に比べて $1.2 \mu\text{m}$ 程度大きくなる。これに加えてp型GaNコンタクト層10はリッジ形状になっており、リッジ側壁もコンタクトが形成されているため、p電極13と導通するコンタクト面積は電流狭窄幅に比べて2倍程度にもなる。また、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9とp型GaNコンタクト層10の電流が流れる幅は面積は電流狭窄幅に比べて1.5倍程度になる。これに比較して従来の半導体レーザでは、電流狭窄幅はリッジ幅に等しく、これとp電極13と導通するコンタクト面積、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9とp型GaNコンタクト層10の電流が流れる幅はほぼ等しくなる。従って、本発明の半導体レーザでは従来構造に比較してp型コンタクト抵抗は1/2、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9とp型GaNコンタクト層10のバルク抵抗は1/1.5になり、大きく低抵抗化できる。特にGaN系材料ではpコンタクト抵抗及びp型バルク抵抗が

高く、本発明の実施によるデバイス抵抗低減効果は大きい。

【0070】さらに、本発明の参考例7の窒化ガリウム系半導体レーザは、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単である。また、光導波路が半導体結晶の[1-100]方向に形成されることになるが、窒化ガリウム系半導体の(1-100)面はへき開面であるため、窒化ガリウム系半導体レーザの共振器鏡面をへき開によって形成することが出来るという利点もある。

【0071】《実施例3》 図10は、本発明を窒化ガ

リウム系半導体レーザに適用した実施例3の概略断面図である。図10に示された、本実施例3の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。

【0072】図10に示された本発明の実施例3の窒化ガリウム系半導体レーザは、参考例7の半導体レーザに比較して、多結晶AlGaN14があることのみが異なっている。

【0073】図10に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板1上に、厚さ $3 \mu\text{m}$ のn型GaNコンタクト層2、厚さ $0.4 \mu\text{m}$ のn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層3、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ のn型GaN光ガイド層4、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層5、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ のp型GaN光ガイド層6、該p型GaN光ガイド層6上に形成され、 $\langle 1-100 \rangle$ 方向の幅 $4 \mu\text{m}$ のストライプ状開口部8を持った厚さ2000Å(オングストローム)の $\text{SiO}_2$ マスク7、該 $\text{SiO}_2$ マスク7の開口部のみに選択的に形成された厚さ $0.4 \mu\text{m}$ のp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9、厚さ $0.2 \mu\text{m}$ のp型GaNコンタクト層10、Ni/Auの2層金属からなるp電極13、Ti/Alの2層金属からなるn電極12が形成されている。サファイア基板1は絶縁体なので、エッチングによって段差11を形成し、n型コンタクト層2を露出した後にn電極12を形成している。p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9の形成時には、形成方法によってはAlと $\text{SiO}_2$ の吸着が強いので、 $\text{SiO}_2$ マスク7上に多結晶AlGaN14が形成される。

【0074】AlGaN選択成長時には、選択成長マスク上に多結晶AlGaNができやすくなるが、多結晶AlGaN14の層厚はp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層9に比べて数分の1程度に小さい。 $\text{SiO}_2$ 膜7により電流狭窄及び光導波を行うことは参考例7と同様であり、多結晶AlGaN14があっても電流狭窄及び光導波の効果は変わらない。低抵抗化に関しても参考例7と同様の効果がある。

【0075】また低抵抗化に関しても参考例7と同様の効果が得られるが、多結晶ができると、表面が凹凸になるので、図のように電極を形成したときに接触面積が大きくなり、はがれにくくなるというAlGaN選択成長による特有の効果も得られる。

【0076】また低抵抗化に関しても参考例7と同様の効果が得られるが、多結晶ができると、表面が凹凸になるので、図のように電極を形成したときに接触面積が大きくなり、はがれにくくなるというAlGaN選択成長による特有の効果も得られる。

【0077】また、電流狭窄構造形成のためのドライエ

ッチングが不要であるため製造工程が簡単であること、光導波路が半導体結晶の〔1-100〕方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは参考例7と同様である。

【0078】《参考例8》 図11は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した参考例8の概略断面図である。図11に示された、本参考例8の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は全て(0001)面を表面とする六方晶である。

【0079】図11に於いて、本発明の窒化ガリウム系半導体レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板1上に、厚さ3μmのn型GaNコンタクト層2、厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層3、厚さ0.1μmのn型GaN光ガイド層4、厚さ25Å(オングストローム)のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層と厚さ50Å(オングストローム)のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層5、厚さ0.1μmのp型GaN光ガイド層6、該p型GaN光ガイド層6上に<1-100>方向のストライプ状に形成された、幅4μmの空隙16を挟んで1対の幅15μm、厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク15、該SiO<sub>2</sub>マスク15を用いて選択的に形成された厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層17、厚さ0.2μmのp型GaNコンタクト層18、該p型GaNコンタクト層18上に形成され、かつ空隙16と中心が一致する幅18μmの開口部を持ったSiO<sub>2</sub>マスク21、Ni/Auの2層金属からなるp電極22、Ti/Alの2層金属からなるn電極20が形成されている。サファイア基板1は絶縁体なので、エッチングによって段差19を形成し、n型コンタクト層2を露出した後にn電極20を形成している。図11の半導体レーザの半導体結晶部分の製造方法は、選択的に形成する半導体層の形状が異なる以外は参考例7と同様である。

【0080】図11に示された本発明の参考例8の窒化ガリウム系半導体レーザは、参考例7の半導体レーザに比較して、SiO<sub>2</sub>マスクの形状と、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層とp型GaNコンタクト層を選択的に形成する領域が異なる。本参考例8では、幅15μm、間隔4μmの1対の厚さ2000Å(オングストローム)のSiO<sub>2</sub>マスク15を用いる。このようなSiO<sub>2</sub>マスクを用いても、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層17とp型GaNコンタクト層18が横方向に広がって形成されることは参考例7と同様であるが、n型GaN光ガイド層4表面上SiO<sub>2</sub>マスクのある領域となない領域の面積比(SiO<sub>2</sub>に被覆された面積/被覆されていない面積:以下、被覆率と呼ぶ)を、数十分の1程度以下に小さくできる。この結果、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層17とp型GaNコンタクト層18の層厚

方向の成膜レートをSiO<sub>2</sub>マスクのない場合とほぼ同じにすることができ、p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層17とp型GaNコンタクト層18の成膜レートを制御しやすくなる。低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は参考例7と同様である。また、電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程が簡単であること、光導波路が半導体結晶の〔1-100〕方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは参考例7と同様である。

【0081】《参考例9》 図12は、本発明を窒化ガリウム系半導体レーザに適用した参考例9の概略断面図である。図12に示された本参考例9の窒化ガリウム系半導体レーザの半導体層は、全て(0001)面を表面とする六方晶である。

【0082】本参考例9と参考例8の違いは、参考例8における(11-20)面を表面とするサファイア基板1と厚さ3μmのn型GaNコンタクト層2がn型GaN基板92に置き換わったことである。この結果、n電極20はn型GaN基板92の裏面に形成される。

【0083】図12に示された本発明の参考例9の窒化ガリウム系半導体レーザでは、参考例8との違いは、参考例8における(11-20)面を表面とするサファイア基板1と厚さ3μmのn型GaNコンタクト層2がn型GaN基板92に置き換わったことである。この結果、n電極20はn型GaN基板92の裏面に形成される。この結果、n電極形成のためのドライエッチングが不要であり、参考例8に比較して更に製造工程が簡略化される。また、光導波路が半導体結晶の〔1-100〕方向に形成され、窒化ガリウム系半導体の(1-100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することが出来ることは参考例7~11と同様であるが、基板自体がGaNであるため、サファイア基板がある場合に比べて劈開面形成ははるかに容易になる。低抵抗化、電流狭窄、横モード制御などに対する効果は参考例8と同様である。

【0084】<実施例の変形> 参考例1から12の窒化ガリウム系レーザに於いては、光導波路が半導体結晶の〔1-100〕方向に形成されているが、光導波路は半導体結晶の〔1-100〕方向または〔1-100〕方向と10度以内の角をなす方向に形成されていれば、本発明の実施に支障はない。開口部と一部の絶縁体電流狭窄層上に形成され側面としては、〔11-22〕面の他、絶縁体マスクとしてSiNを用いた場合は〔1-120〕面が形成される場合もある。

【0085】また〔1-100〕方向とずれている場合でもレーザの共振器鏡面をドライエッチングなどのへき開以外の方法で形成すれば、ミラー面形成上の問題はない。

【0086】さらに、上記、各参考例、各実施例に記載の窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面と

するサファイア基板上に形成されているが、これに限られるものではなく、(0001)面、あるいは他の面を表面とするサファイア基板上、あるいは炭化珪素基板、 $MgAl_2O_4$  基板、 $GaN$  基板上に形成しても、絶縁体マスクが形成される結晶の表面が(0001)面であれば本発明の実施に支障はない。

【0087】また、上記、各参考例、各実施例の窒化ガリウム系半導体レーザは、(0001)面  $n$  型  $GaN$  基板上に限らず、異なる面方位の  $n$  型  $GaN$  基板、 $n$  型炭化珪素基板といった他の基板上に形成した場合も、導電性かつ絶縁体マスクが形成される結晶の表面が(0001)面であれば本発明の実施に支障はない。

【0088】また、本発明の実施は上記各参考例、各実施例に示された構造の窒化ガリウム系半導体レーザに限られるものではなく、各層の層厚や各層の組成や各層のドーピング濃度や電極材料やマスク材料やドライエッチング深さやストライプ幅の様々な組み合わせの窒化ガリウム系半導体レーザに於いて支障はない。

【0089】また、絶縁体マスクは  $SiO_2$  を用いているが、窒化珪素膜、 $TiO_2$  膜などの他の材料の膜でもよく、絶縁体であればよい。また、各参考例、各実施例の窒化ガリウム系半導体レーザに於いては、いずれも、半導体層の表面は(0001)面であるが、半導体層の表面は(0001)面または(0001)面とのなす角が10度以内である面であれば、本発明の実施に支障はない。

【0090】また、本発明は半導体レーザだけでなく、発光ダイオードにも適用可能である。

【0091】

【発明の効果】本発明では、選択成長の特性を利用し、ダブルヘテロ構造の少なくとも一部を選択成長により形成することで、選択成長用マスクを電流狭窄手段として用いることができ活性層への理想的な電流狭窄が可能となる。

【0092】また選択成長で活性層の側面を活性層の屈折率より低い層で埋め込むことにより、活性層横方向の屈折率差が大きくでき、活性層幅を所定の値とすることでレーザ光の基本横モード制御が行える。

【0093】さらに選択成長によりリッジ構造が形成できるため電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要となり製造工程を簡単にできる。

【0094】また光導波路を半導体結晶の[1100]方向に形成することで、窒化ガリウム系半導体の(1100)へき開面を用いて共振器鏡面を形成することができ、さらに電流狭窄構造形成のためのドライエッチングが不要であるため製造工程を簡単にできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の参考例1の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図2】本発明の実施例1の窒化ガリウム系半導体レー

ザの概略断面図である。

【図3】本発明の参考例2の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図4】本発明の参考例3の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図5】本発明の参考例4の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図6】本発明の実施例2の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図7】本発明の参考例5の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図8】本発明の参考例6の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図9】本発明の参考例7の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図10】本発明の実施例3の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図11】本発明の参考例8の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図12】本発明の参考例9の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図13】従来の製造方法を用いて製造された、従来の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【図14】従来の窒化ガリウム系半導体レーザの概略断面図である。

【符号の説明】

- 1 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 2  $n$ 型  $GaN$  コンタクト層
- 3  $n$ 型  $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$  クラッド層
- 4  $n$ 型  $GaN$  光ガイド層
- 5 多重量子井戸構造活性層
- 6  $p$ 型  $GaN$  光ガイド層
- 7  $SiO_2$  膜
- 8  $SiO_2$  開口部
- 9  $p$ 型  $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$  クラッド層
- 10  $p$ 型  $GaN$  コンタクト層
- 11 段差
- 12 チタンおよびアルミニウムからなる  $n$  電極
- 13 ニッケルおよび金からなる  $p$  電極
- 14 多結晶  $AlGaIn$  層
- 15  $SiO_2$  膜
- 16  $SiO_2$  開口部
- 17  $p$ 型  $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$  クラッド層
- 18  $p$ 型  $GaN$  コンタクト層
- 19 段差
- 20 チタンおよびアルミニウムからなる  $n$  電極
- 21  $SiO_2$  膜
- 22 ニッケルおよび金からなる  $p$  電極
- 31 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 32  $n$ 型  $GaN$  コンタクト層

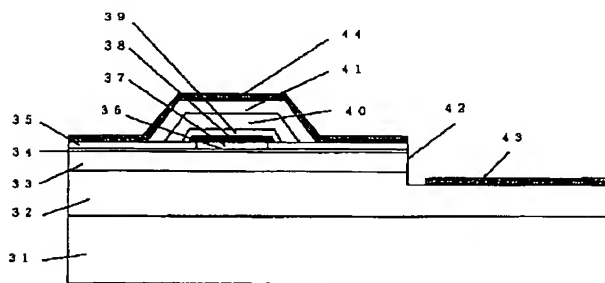
19

- 33 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 34 n型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 35 SiO<sub>2</sub> 膜
- 37 n型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 38 多重量子井戸構造活性層
- 39 p型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 40 p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 41 p型Ga<sub>0.07</sub>Nコンタクト層
- 42 段差
- 43 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 44 ニッケルおよび金からなるp電極
- 45 多結晶AlGa<sub>0.07</sub>N層
- 46 SiO<sub>2</sub> 膜
- 47 SiO<sub>2</sub> 開口部
- 48 n型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 49 多重量子井戸構造活性層
- 50 p型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 51 p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 52 p型Ga<sub>0.07</sub>Nコンタクト層
- 53 段差
- 54 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 55 SiO<sub>2</sub> 膜
- 56 ニッケルおよび金からなるp電極
- 61 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 62 n型Ga<sub>0.07</sub>Nコンタクト層
- 63 SiO<sub>2</sub> 膜
- 64 SiO<sub>2</sub> 開口部
- 65 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 66 n型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 67 多重量子井戸構造活性層
- 68 p型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 69 p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層

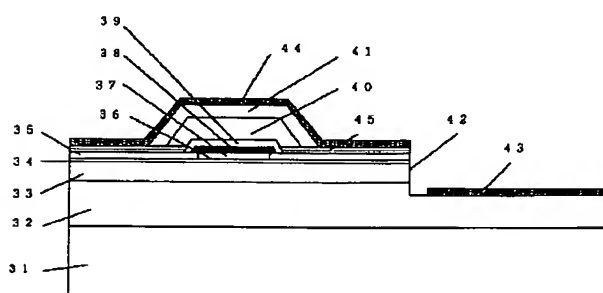
20

- 70 p型Ga<sub>0.07</sub>Nコンタクト層
- 71 ニッケルおよび金からなるp電極
- 72 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 73 多結晶AlGa<sub>0.07</sub>N層
- 74 多結晶AlGa<sub>0.07</sub>N層
- 80 SiO<sub>2</sub> 膜
- 81 SiO<sub>2</sub> 開口部
- 82 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 83 p型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 84 多重量子井戸構造活性層
- 85 p型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 86 p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 87 p型Ga<sub>0.07</sub>Nコンタクト層
- 88 SiO<sub>2</sub> 膜
- 89 ニッケルおよび金からなるp電極
- 90 段差
- 91 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 92 (0001)面n型Ga<sub>0.07</sub>N基板
- 93 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 101 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 102 n型Ga<sub>0.07</sub>Nコンタクト層
- 103 n型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 104 n型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 105 多重量子井戸構造活性層
- 106 p型Ga<sub>0.07</sub>N光ガイド層
- 107 p型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>Nクラッド層
- 108 p型Ga<sub>0.07</sub>Nコンタクト層
- 109 リッジ構造
- 110 SiO<sub>2</sub> 膜
- 111 段差
- 112 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 113 ニッケルおよび金からなるp電極

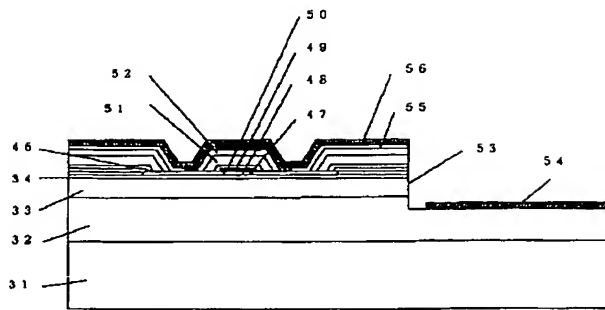
【図1】



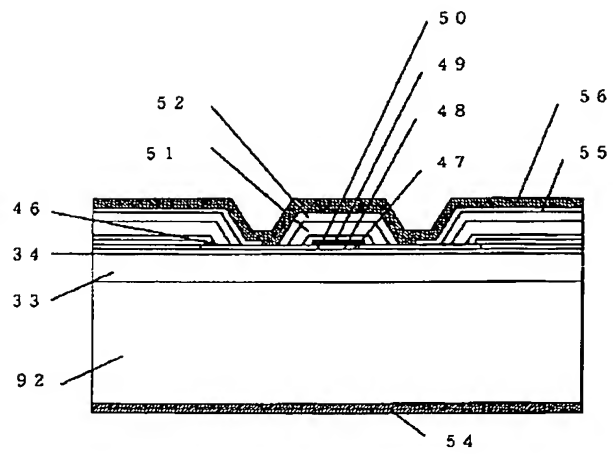
【図2】



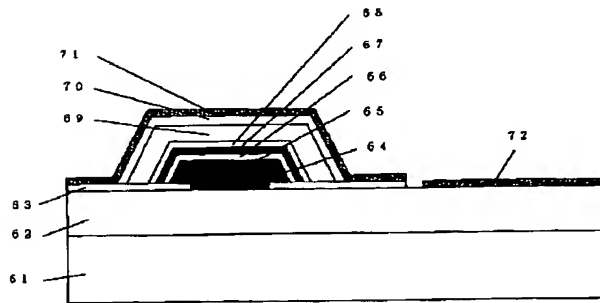
【図 3】



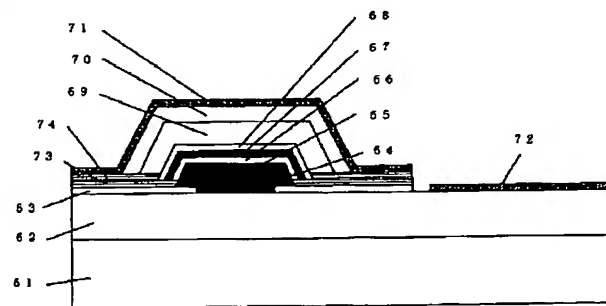
【図 4】



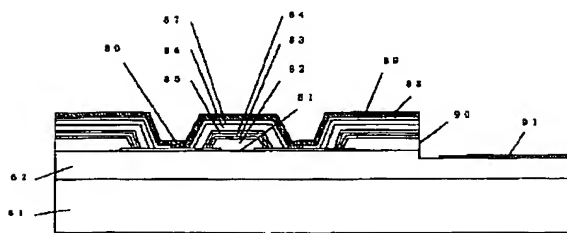
【図 5】



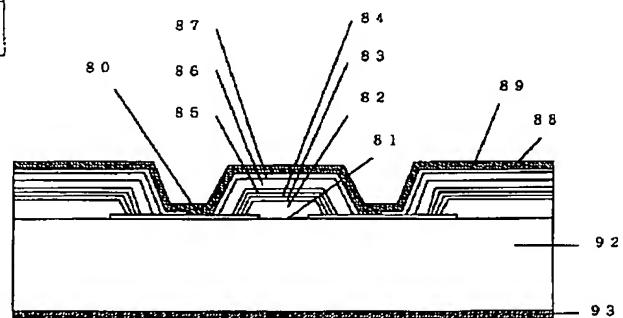
【図 6】



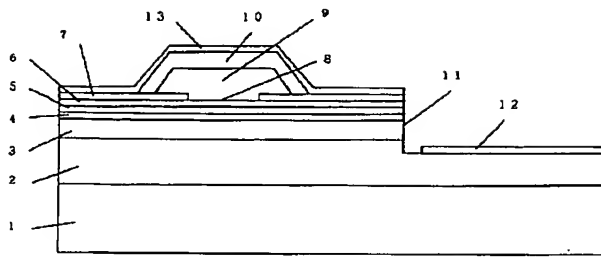
【図 7】



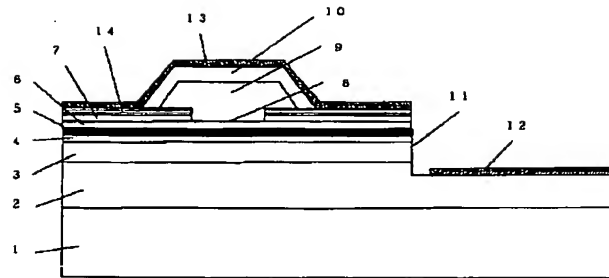
【図 8】



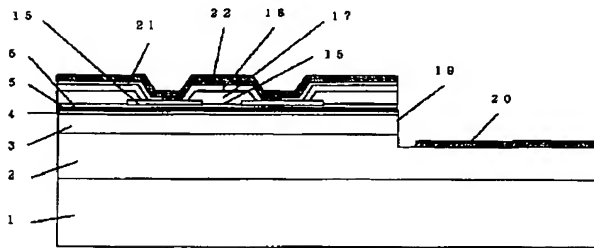
【図 9】



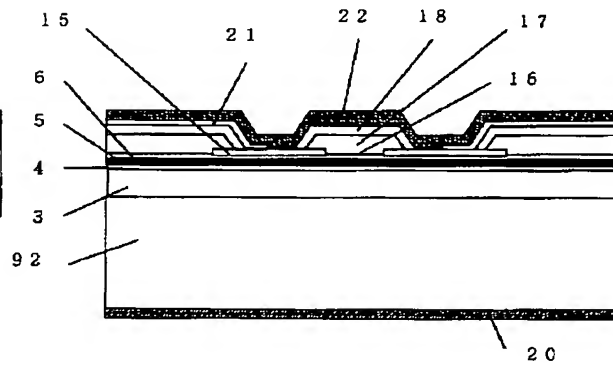
【図 10】



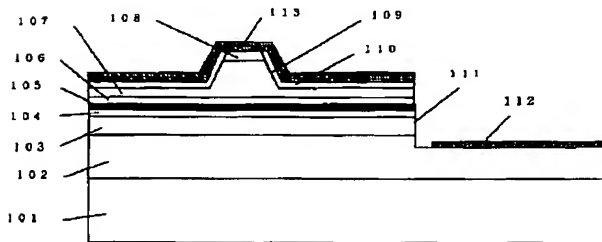
【図 11】



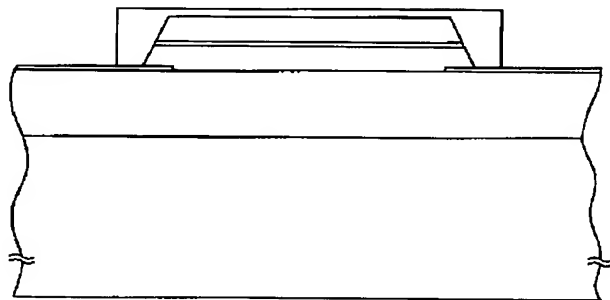
【図 12】



【図 13】



【図 14】



This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**